

# Mehanička i tehnološka svojstva korozijski postojanih čelika i njihova primjena u poljoprivrednoj tehnici

---

**Pavelka, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:084157>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-28**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Ivan Pavelka

Preddiplomski studij

Smjer: Mehanizacija

**MEHANIČKA I TEHNOLOŠKA SVOJSTVA KOROZIJSKI  
POSTOJANIH ČELIKA I NJIHOVA PRIMJENA U  
POLJOPRIVREDNOJ TEHNICI**

Završni rad

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Ivan Pavelka

Preddiplomski studij

Smjer: Mehanizacija

**MEHANIČKA I TEHNOLOŠKA SVOJSTVA KOROZIJSKI  
POSTOJANIH ČELIKA I NJIHOVA PRIMJENA U  
POLJOPRIVREDNOJ TEHNICI**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Dr.sc. Ivan Vidaković
2. Prof.dr.sc. Goran Heffer
3. Goran Pačarek, mag.ing.mech.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Završni rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Ivan Pavelka

### **Mehanička i tehnološka svojstva korozijski postojanih čelika i njihova primjena u poljoprivrednoj tehnici**

#### **Sažetak:**

Nehrđajući čelik obilježava minimalni udio kroma od 12 % kao i dodatak ostalih legirajućih elemenata poput nikla, molibdena, titana, dušika, kojima se bilo modificira njihova struktura, ili postižu svojstva veće korozijske postojanosti, poboljšava obradivost, čvrstoca ili pak žilavost na sniženim (kriogenim) temperaturama. U osnovi, danas, poznajemo četiri osnovne grupe – vrste nehrđajućih čelika, a to su: martenzitni, feritni, austenitni i dupleks (austenitno – feritni) nehrđajući čelici. MIG/MAG i TIG tehnologije se koriste pri zavarivanju nehrđajućih čelika. U ovom radu je opisana primjena korozijski postojanih čelika pri obradi plastičnom deformacijom, kao i primjena korozijski postojanih čelika pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike.

**Ključne riječi:** nehrđajući čelik, primjena, svojstva, zavarivanje, plastična deformacija

33 stranica, 1 tablica, 29 slika, 19 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Josip Jurja Strossmayer University in Osijek

BSc Thesis

Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek

Undergraduate university study Agriculture, course Mehanization

Ivan Pavelka

### **Mechanical and technological properties of corrosion-resistant steels and their application in agricultural technology**

#### **Summary:**

Stainless steel is characterized by a minimum chromium content of 12%, as well as the addition of other alloying elements such as nickel, molybdenum, titanium, nitrogen, which either modify their structure, or achieve properties of greater corrosion resistance, improve workability, strength or toughness at reduced (cryogenic) temperatures. Basically, today, we know four basic groups - types of stainless steels, namely: martensitic, ferritic, austenitic and duplex (austenitic - ferritic) stainless steels. MIG/MAG and TIG technologies are used for welding stainless steels. This paper describes the application of corrosion-resistant steels during processing by plastic deformation, as well as the application of corrosion-resistant steels in the production of parts of agricultural machinery.

**Keywords:** stainless steel, application, properties, welding, plastic deformation

33 pages, 1 tables, 29 pictures, 19 references

BCs Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek.

# SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. VRSTE I SVOJSTVA KOROZIJSKI POSTOJANIH ČELIKA</b> .....	3
2.1. Općenito o korozijski postojanim čelicima .....	3
2.1.1. Martezitni nehrđajući čelici .....	3
2.1.2. Feritni nehrđajući čelici .....	4
2.1.3. Austenitni nehrđajući čelici .....	5
2.1.4. Dupleks (austenitno – feritni) nehrđajući čelici .....	7
2.1.5. Razvoj korozijski postojanih čelika .....	8
2.2. Općenito o koroziji .....	9
<b>3. TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI OBRADNE KOROZIJSKI POSTOJANIH ČELIKA</b> .....	11
3.1. Postupci zavarivanja korozijski postojanih čelika .....	11
3.1.1. Općenito o zavarivanju korozijski postojanih čelika .....	11
3.1.2. MIG postupak zavarivanja .....	15
3.1.3. TIG postupak zavarivanja .....	18
3.2. Primjena korozijski postojanih čelika pri obradi plastičnom deformacijom .....	19
<b>4. PRIMJENA KOROZIJSKI POSTOJANIH ČELIKA PRI IZRADI DIJELOVA POLJOPRIVREDNE TEHNIKE</b> .....	24
4.1. Ograde, kapije i pregrade .....	24
4.2. Uređaji za hranjenje .....	25
4.3. Posude i uređaji za doziranje vode u objektima za uzgoj životinja .....	26
4.4. Električna i mehanička oprema .....	28
4.5. Dijelovi u mljekarskoj industriji .....	29
4.6. Spremnici za gnojnicu i otpadne vode .....	30
4.7. Ispušna cijev na traktoru .....	30
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	32
<b>6. LITERATURA</b> .....	33

## 1. UVOD

Otkriće nehrđajućih čelika pripisuje se Harryju Brearleyju iz Engleske, iako su se nehrđajući čelici istraživali u Njemačkoj i Francuskoj. Za vrijeme eksperimentiranja s čelicima za cijevi pištolja 1913. godine, proizveo je čelik koji je imao udio kroma od 13 do 14 % s relativno visokim udjelom ugljika. Taj čelik nije korodirao kad je bio izložen atmosferi. Glavni učinak legiranja kroma sa željezom je povećanje otpornosti na korodiranje i oksidaciju pri visokim temperaturama. Pasivnost je stanje materijala u kojem pokazuje jako malu kemijsku reakciju i inertnost u korozivnim medijima. Krom daje pasivnost nehrđajućem čeliku. Nehrđajući čelici se baziraju na željezu koje sadrži više od 12 % kroma. Ta razina kroma čini ovaj čelik pasivnim stvarajući jako tanak i stabilan sloj kromovog oksida na površini čelika. Brearleyjevo otkriće je dovelo do razvoja „obitelji“ nehrđajućih čelika. Napredak u zavarivanju i proizvodnji čelika 1940-ih i 1960-ih godina je dao poticaj razvoju i primjeni nehrđajućih čelika. Razvojem se zadovoljavaju rastuće potrebe sektora industrije kao što su građevinska, kemijska, rudarska, nuklearna i prehrambena industrija. Krom nije jedini legirajući element koji se koristi za nehrđajuće čelike. Nikal, molibden i bakar povećavaju pasivnost u jako agresivnim uvjetima. Mangan, silicij, aluminij, dušik, sumpor, selenij i titan imaju manji utjecaj na otpornost koroziji, ali mijenjaju mehanička i fizikalna svojstva kao što su zavarljivost i obradljivost. Na svojstva također mogu utjecati topli i hladni rad, toplinske obrade i proces proizvodnje. Primarno svojstvo nehrđajućih čelika je otpornost na koroziju i oksidaciju kod visokih temperatura. Nehrđajući čelici također imaju mnoga druga svojstva koja ih čine svestranim materijalima (Lovrenčić, 2019.).

Poljoprivredni strojevi izloženi su trošenju i koroziji. Ova šteta proizlazi iz rada u različitim uvjetima, kao što su vlažnost biljaka, gustoća biljaka, tipovi tla i uvjeti okoliša na terenu; stoga ova šteta dovodi do povećanja potrošnje energije, gubitaka u proizvodnji i smanjenja vijeka trajanja dijelova poljoprivredne tehnike. Postoje mnoge studije koje su identificirale rješenja koja se mogu koristiti za produljenje životnog vijeka poljoprivrednih strojeva smanjenjem kemijske korozije poljoprivrednih strojeva. Metode koje se koriste za smanjenje kemijske korozije u poljoprivrednim strojevima mogu se sažeti odabirom novih otpornih materijala, upotrebom boja i upotrebom inhibitora korozije (Nasr, 2023.).

U nastavku ovog rada će se na temelju dostupnih literaturnih izvora opisati mehanička i tehnološka svojstva korozijski postojanih čelika, pri čemu će se naglasak staviti na tehnološke mogućnosti zavarivanja, kao i obrade navedenih čelika plastičnom deformacijom. Također, u

radu će biti navedeni i opisani pojedini dijelovi poljoprivredne tehnike izrađeni od korozijski postojanih čelik.

## 2. VRSTE I SVOJSTVA KOROZIJSKI POSTOJANIH ČELIKA

### 2.1. Općenito o korozivski postojanim čelicima

Nehrđajući čelik (eng. *stainless steel*) naziv je koji se koristi još od najranijih faza razvoja ovih čelika (početak XX. stoljeća). S početka prihvaćen kao generičko ime, danas označava široki raspon različitih vrsta i kvaliteta čelika otpornih na koroziju. Obilježava ih minimalni udio kroma od 12 % kao i dodatak ostalih legirajućih elemenata poput nikla, molibdena, titana, dušika, kojima se bilo modificira njihova struktura, ili postižu svojstva veće korozivske postojanosti, poboljšava obradivost, čvrstoca ili pak žilavost na sniženim (kriogenim) temperaturama. U osnovi, danas, poznajemo četiri osnovne grupe – vrste nehrđajućih čelika, pri čemu je podjela izvršena na osnovi njihovih mikrostrukturnih obilježja. Tako postoje martenzitni, feritni, austenitni i dupleks (austenitno – feritni) nehrđajući čelici. Dodatno, navedena podjela može se proširiti ako se uzme u obzir i mogućnost očvršćavanja, pa tako postoji i peta skupina nehrđajućih čelika - tzv. precipitacijski očvrstivi čelici (Juraga i sur. 2007).

#### 2.1.1. Martenzitni nehrđajući čelici

Martenzitni nehrđajući čelici imaju povišeni udio ugljika (0,20 - 1,0 %), iznad 13 % kroma (do 18 %) te mogu sadržavati i do 1,3 % molibdena i 2,5 % nikla. Optimalna mehanička svojstva i korozivska postojanost ove skupine čelika postiže se kaljenjem na zraku ili u ulju i naknadnim popuštanjem. Martenzitni nehrđajući čelici mogu se podijeliti u dvije podskupine: konstrukcijski (sadrže do = 0,25 % C, poboljšavaju se) i alatni čelici (> 0,3 % C, nakon kaljenja se nisko popuštaju). Kod konstrukcijskih čelika posebna pažnja se usmjerava prema korozivskoj postojanosti, a kod alatnih postoji dodatni zahtjev prema otpornosti na abrazivsko trošenje. Radi toga alatni čelici imaju dvofaznu mikrostrukturu (martenzit + karbidi) čija je korozivska postojanost niža od jednofazne martenzitne mikrostrukture (Kraut, 2009.).

Male količine nikla dodaju se za poboljšanje korozivske otpornosti, a sumpor i selen za obradivost. Najveći nedostatak martenzitnih čelika je osjetljivost prema vodikovoj krhkosti posebno u sulfidnim okolišima. Također imaju lošu otpornost na udarni lom kod sniženih temperatura. No, zbog otpornosti na koroziju te visokog sadržaja ugljika koji osigurava otpornost na trošenje koriste se za izradu kotrljajućih elemenata kugličnih ležajeva, oštrica noževa, kirurškog i zubarskog alata, turbinskih lopatica i dijelova za rad na visokim temperaturama (npr. cijevi generatora pare) (Juraga i sur.,2007).





Slika 1. Mikrostruktura martenzitnog nehrđajućeg čelika

(Izvor: Dujak, 2019.)

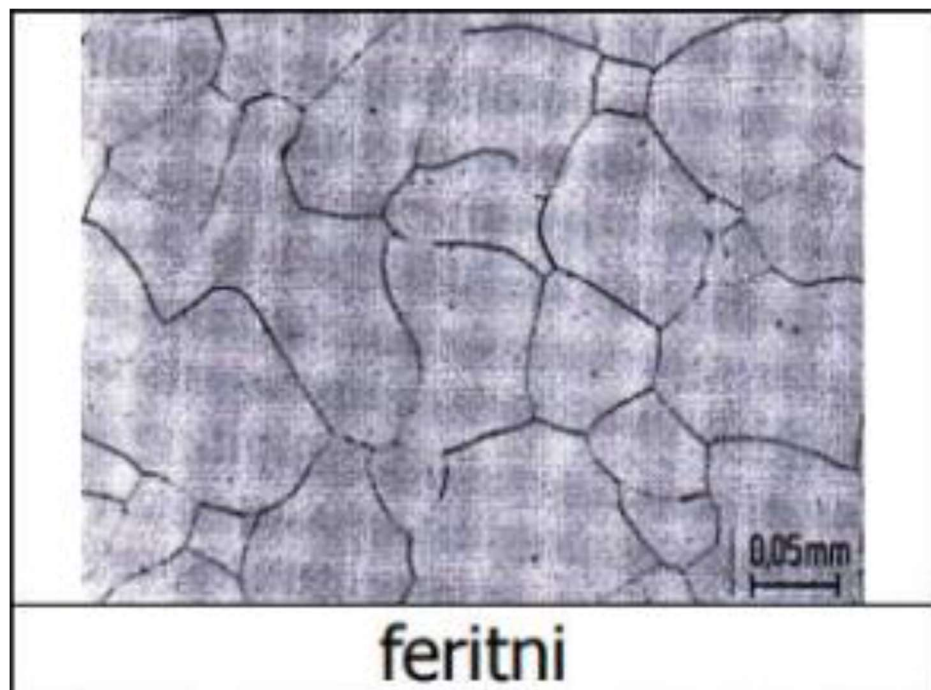
### 2.1.2. Feritni nehrđajući čelici

Legure iz ove skupine sadrže uobičajeno 11 - 17 % Cr, uz dodatak nekih drugih legiranih elemenata (npr. Mo, Si, Al, Ti ili Nb). Sumpor i selen mogu se dodati kako bi se poboljšala strojna obradivost, a udio austenitizirajućih elemenata (C, N i Ni) vrlo je mali. Feritni nehrđajući čelici su feromagnetni i ne mogu očvrnuti postupcima toplinske obrade jer nemaju faznu pretvorbu. Njihove granice razvlačenja kreću se od 275 – 350 N/mm<sup>2</sup>, vlačna čvrstoća 415 – 585 N/mm<sup>2</sup>, a duktilnost 20 – 35 %. Slaba čvrstoća i osjetljivost na senzibilizaciju ograničavaju njihovu obradljivost i upotrebu. Čvrstoća na povišenim temperaturama slabija je nego kod austenitnih čelika. Prednost ove skupine čelika je otpornost na koroziju i oksidaciju uz relativno nisku cijenu, pa se tako koriste npr. u uvjetima izloženosti dušičnoj kiselini, u obradi voda, preradi hrane i arhitekturi. Ugrađuju se u postrojenja u kojima je otvorena opasnost od pojave napetosne korozije, gdje ne mogu zadovoljiti austenitni čelici (Juraga i sur., 2007.). Feritni čelici su visoko korozijski otporni na djelovanje dušične kiseline i njenih vodenih otopina, amonijevoj salitri te smjesi dušične, fosforne i solne kiseline. Nasuprot tome, nisu otporni na djelovanje rastaljenih metala (Al, Sb, Pb), amonijevog bifluorida, barijevog klorida, broma, octene kiseline, itd. (Brkić, 2007).

Svojstva feritnih nehrđajućih čelika su:

- relativno su mekani
- magnetični

- slabo zavarljivi zbog sklonosti pogrubljenju zrna ( $> 900^{\circ}\text{C}$ )
- skloni pojavi „krhkosti 475“ pri izloženosti temperaturi  $350 - 520^{\circ}\text{C}$
- skloni stvaranju krhke sigma faze ( $520 - 850^{\circ}\text{C}$ )
- slaba deformabilnost
- dobra obradivost odvajanjem čestica (bolja od austenitnih)
- loša postojanost u kloridnim otopinama (npr. morska sol)
- nisu osjetljivi na pojavu napetosne korozije
- dodatkom molibdena povećava im se otpornost na jamičastu koroziju
- ekonomski su prihvatljiviji od ostalih nehrđajućih čelika
- skloni lomu pri niskim temperaturama (Kožuh, 2010.).



Slika 2. Mikrostruktura feritnih nehrđajućih čelika

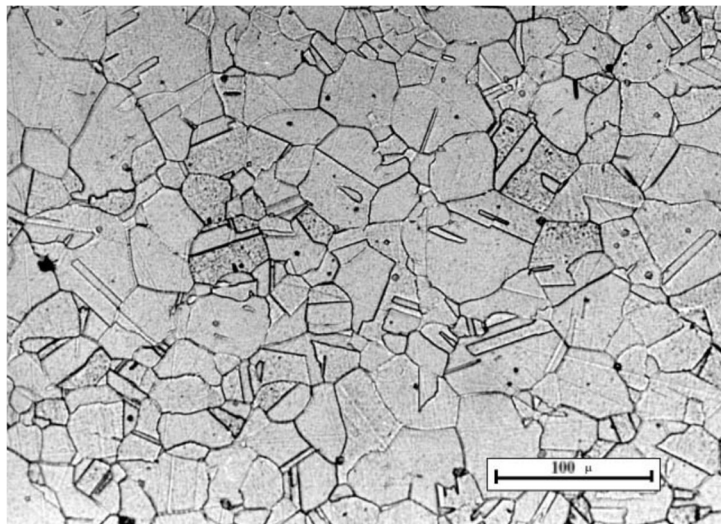
(Izvor: Dujak, 2019.)

### 2.1.3. Austenitni nehrđajućii čelici

Austenitni nehrđajućii čelici mogu sadržavati do 0,15 % ugljika. Ugljik je više nečistoća nego legirajući element. Povećava granicu tečenja i pomaže stabilizirati austenit, ali, ako se ne drži u čvrstoj otopini, spaja se s kromom kao  $\text{M}_{23}\text{C}_6$ , gdje je M uglavnom krom, ali također i željezo. Ovaj se karbid taloži u početku na granicama zrna, zatim na „blizancima“, zatim unutar austenitnih zrna. Taloženje na granicama zrna ostavlja okolni volumen znatno osiromašenom kromu. Taj se fenomen naziva "senzibilizacija" i posebno je štetan za otpornost na koroziju.

Kinetika ove precipitacije je takva da se tipovi s 0,08 % ugljika senzibiliziraju za nekoliko minuta, dok je onima s manje od 0,03 % potrebno 100 puta dulje. Povećanje nikla i molibdena te hladni rad ubrzavaju taloženje, dok ga dušik i mangan usporavaju. Neke legure dizajnirane su za uklanjanje taloženja kromovih karbida preferencijalnim stvaranjem titanovih ili niobijevih karbida. U određenim visokotemperaturnim primjenama ovo može biti prikladnije za austenitne, dok je to normalna metoda u feritnim nehrđajućim čelicima, gdje nijedna praktična metoda rafiniranja ne može dovoljno smanjiti razine ugljika da spriječi preosjetljivost.

Reakcija taloženja karbida odvija se između 600 i 1000 °C. Na sličnim temperaturama druge intermetalne faze, uglavnom sigma, mogu se taložiti u puno dužim vremenima u više legiranim industrijski korištenim vrstama čelika. To se događa u legurama gdje je matrica bogata ekvivalentima kroma, preko 18 %, i niskim sadržajem otopljenog ugljika. Takve faze su od mnogo veće praktične važnosti u feritnim stupnjevima gdje je njihova kinetika stvaranja oko 100 puta brža (Michler, 2016.).



Slika 3. Mikrostruktura austenitnog čelika

(Izvor: Juraga i sur., 2007.)

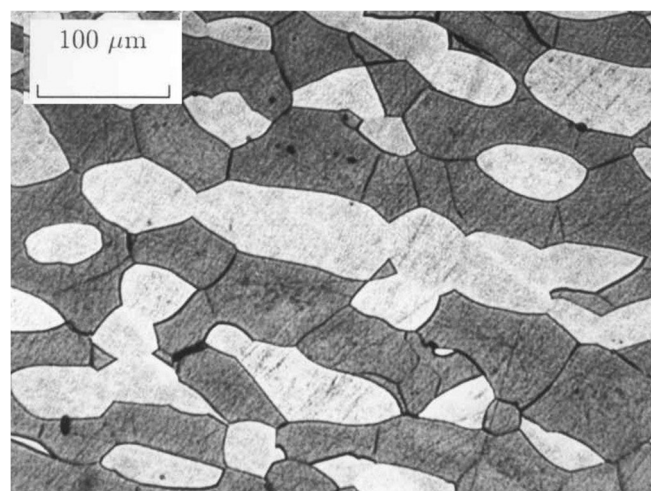
Glavna svojstva austenitnih nehrđajućih čelika su:

- nema mogućnost usitnjavanja zrna
- nemagnetični su
- veće napetosti i deformacije tijekom zavarivanja nego kod feritnih čelika
- legiranjem s molibdenom, volframom i vanadijem postiže se dobra otpornost prema puzanju pri temperaturama iznad 600 °C
- velika žilavost, oksidacijska i korozivna otpornost

- visok odnos čvrstoća/masa
- dobra svojstva pri niskim temperaturama
- postojana austenitna struktura „solidus“ temperature do ispod sobne temperature
- kubično plošno centrirana (FCC) rešetka koja osigurava visoku deformabilnost
- nisu skloni povećanju zrna u zoni utjecaja topline tijekom zavarivanja (Kožuh, 2010.).

#### 2.1.4. Dupleks (austenitno – feritni) nehrđajući čelici

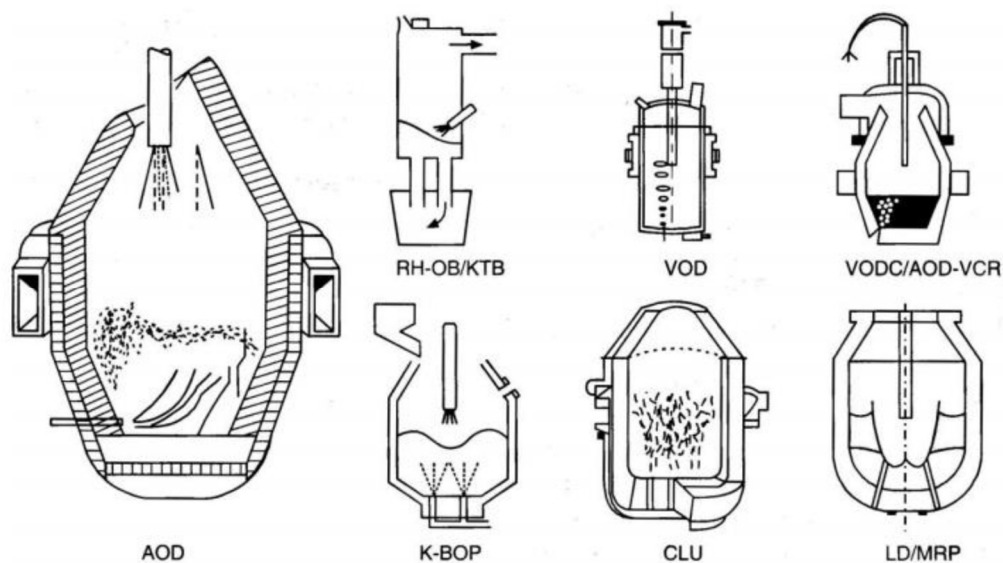
Dupleks nehrđajući čelici su dvofazne legure koje sadrže jednaki udio feritne i austenitne faze u svojoj mikrostrukturi, čime se postiže kombinacija otpornosti na koroziju austenitnih nehrđajućih čelika s većom čvrstoćom. Stoga imaju miješanu mikrostrukturu austenita i ferita, a cilj je obično proizvesti mješavinu 50/50, iako u komercijalnim legurama omjer može biti 40/60. Sa sadržajem ugljika nižim od 0,03 %, količina sadržaja Cr i Ni može varirati od 20 % do 30 %, odnosno od 5 % do 8 %. Manji legirajući elementi sadržani u dupleks nehrđajućim čelicima uključuju molibden, dušik, volfram i bakar. Dupleks nehrđajući čelici imaju otprilike dvostruko veću čvrstoću u usporedbi s austenitnim nehrđajućim čelicima, a također imaju poboljšanu otpornost na lokaliziranu koroziju, osobito rupičastu koroziju, koroziju u pukotinama i pucanje od korozije uslijed naprezanja. Štoviše, imaju poboljšanu žilavost i duktilnost u usporedbi s feritnim nehrđajućim čelikom. Dupleks nehrđajući čelici mogu se zavarivati, ali se mora paziti da se održi točna ravnoteža austenita i ferita. Oni su feromagnetski i njihova sposobnost oblikovanja je razumna, ali su potrebne veće sile od onih koje se koriste za austenitne nehrđajuće čelike (Tanzi i sur. 2019.).



Slika 4. Mikrostruktura dupleks nehrđajućeg čelika  
(Izvor: Juraga i sur., 2007.)

### 2.1.5. Razvoj korozivski postojanih čelika

Korozivski postojani čelici u početku su se dobivali u elektrolučnoj peći. Kao sirovina za dobivanje ove vrste čelika koristio se ugljični čelični otpad, željezna ruda i pečeno vapno. Nakon pretaljivanja čeličnog otpada razina ugljika korigirala se dodavanjem željezne rude. Najčešći sadržaj ugljika bio je 0.07 - 0.08 %. Kako bi se postigao željeni sadržaj kroma u više navrata dodavao se niskougljični ferokrom. Talina se konstantno miješala, a izljevala se nakon postizanja željene temperature. Razvojem elektrolučnih peći za ubrzavanje oksidacije ugljika počeo se koristiti plinoviti kisik, nepovoljan učinak ovog postupka je oksidacija kroma. Kako bi se izbjegla oksidacija kroma razvijen je AOD (*Argon Oxygen Decarburization* - Proces proizvodnje korozivski postojanih čelika) postupak koji uz pomoć argona može talinu odugljičiti na prihvatljivu razinu bez oksidacije kroma. Provodi se istodobnim korištenjem kisika i argona, isti je donio veliki doprinos u proizvodnji korozivski postojanih čelika. Moderni način izrade korozivski postojanih čelika započeo je 1970. godine, to je dupleks proces koji se sastoji od elektrolučne peći i AOD konvertora. U elektrolučnoj peći pretaljuje se sirovina i dobiva rastaljena metalna talina koja se potom uljeva u AOD konvertor. Danas se koriste i tripleks procesi koji se sastoje od peći, konvertora i vakumskog postrojenja. Završna faza kod tripleks procesa je vakuumska obrada čelika u livnom loncu. Najpoznatiji je VOD (*Vacuum Oxygen Decarburization* - Proces proizvodnje korozivski postojanih čelika) proces kod kojeg se odugljičenje taline vrši kisikom u vakumu. Većina proizvoda izrađenih od korozivski postojanih čelika koji su proizvedeni prije 30-ak godina sad se vraćaju u čeličane na pretaljivanje kao čelični otpad (Horvatek, 2019.).



Slika 5. Shematski prikaz postupaka za proizvodnju korozivski postojanih čelika  
(Izvor: Horvatek, 2019.).

## 2.2. Općenito o koroziji

„*Corrodere*“ je latinska riječ koja u prijevodu znači nagrizati, iz koje proizlazi naziv korozija. Opće prihvaćena laička definicija navodi da je korozija trošenje konstrukcijskih materijala pod djelovanjem fluida bilo to kapljevina ili plinova. Prilikom djelovanja korozije dolazi do razaranja metalnih, ali i anorganskih nemetala. Također, korozija se uočava i na organskim materijalima kao što su drvo, polimerni materijali i drugi. Prema međunarodnom standardu ISO 8044:2020 (eng. *the International Organization for Standardization*) pod nazivom „Korozija metala i legura“ (eng. „*Corrosion of metals and alloys*“) korozija je fizikalno-kemijska interakcija između metalnog materijala i korozivne okoline koja za rezultat daje promjenu u svojstvu metala, a navedene promjene mogu dovesti do značajnog oštećenja funkcije metala, tehničkog sustava u kojem je metal implementiran ili samog okoliša (Meštrović, 2022.).

Korozijom se smatra spontano razaranje materijala koja može nastati pod djelovanjem raznih medija kao što su plinovi, kapljevine, krutine agresivnih čestica, te kemijskih i elektrokemijskih procesa. Da bi se zaštitio od korozije i produljio vijek trajanja tvorevine potrebno je odrediti vrstu korozije koja se pojavljuje u određenim eksploatacijskim uvjetima. Vrsta korozije često se vrlo lako može odrediti golim okom. Pojava i oblik nastale korozije ovise o različitim uvjetima (Horvatek, 2019.)

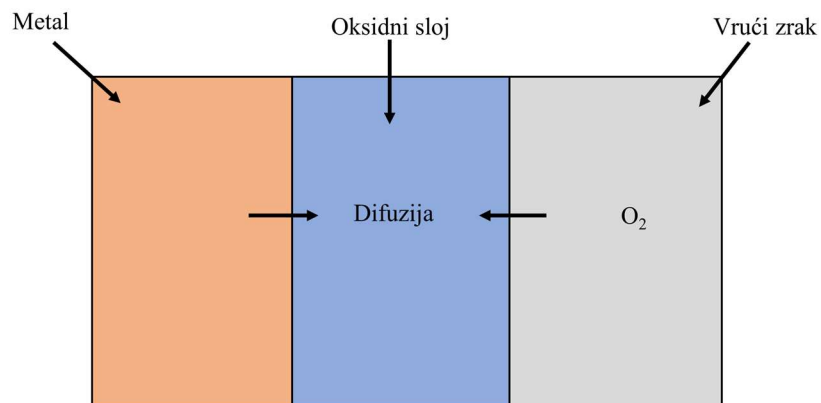
Također, isti autor navodi da je najvažnija podjela korozije, podjela prema mehanizmu procesa:

- kemijska korozija metala – odvija se u električki nevodljivim fluidima (neelektrolitima)
- elektrokemijska korozija metala – odvija se u električki vodljivim kapljevinama (elektrolitima)

Isto tako se pojavljuju i posebni oblici korozije kao što su:

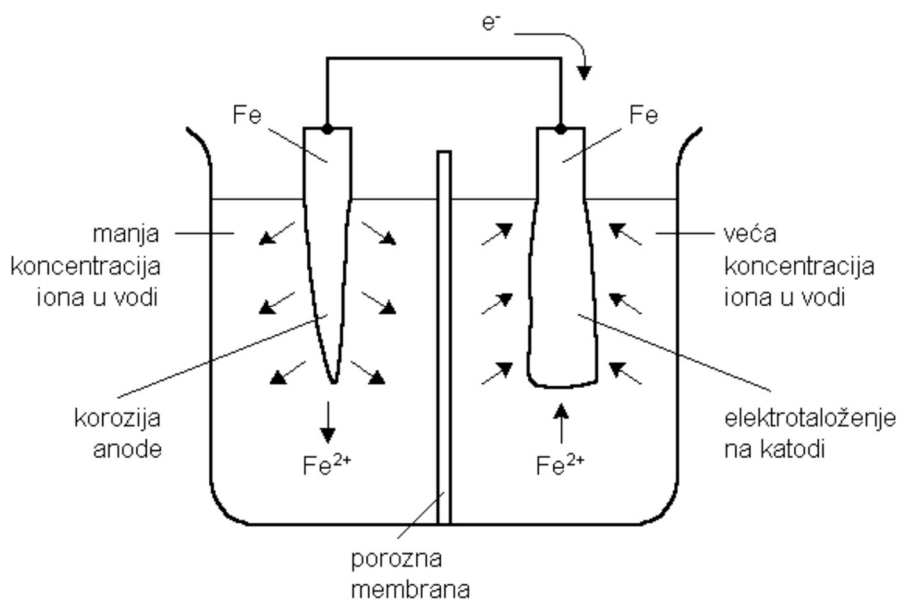
- točkasta korozija
- napetosna korozija
- korozija u rasporu
- interkristalna korozija
- selektivna korozija
- kavitacijska korozija
- erozijska korozija
- korozija uzrokovana trenjem
- korozija potpomognuta naprežanjem
- galvanska korozija

- korozija usred lutajućih struja
- biološka korozija



Slika 6. Plinska kemijska korozija

(Izvor: Horvatek, 2019.)



Slika 7. Proces odvijanja elektrokemijske korozije

(Izvor: Horvatek, 2019.)

### 3. TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI OBRADJE KOROZIJSKI POSTOJANIH ČELIKA

U ovom poglavlju bit će opisane tehnološke mogućnosti obrade korozijski postojanih čelika s naglaskom na zavarivanje i obradu navedenih čelika plastičnom deformacijom.

#### 3.1. Postupci zavarivanja korozijski postojanih čelika

Zavarivanje je proces dobivanja trajnog/nerastavljivog spoja, obično metala ili termoplastike, uz lokalno ili šire zagrijavanje spojnih mjesta, a spajaju se staljivanjem uz ili bez dodavanja dodatnog materijala kako bi se dobio homogeni spoj. Osim zagrijavanja, često se primjenjuje i metoda spajanja povećanjem tlaka tj. pritiska. Zavarivanje je interdisciplinarna tehnologija. Kako bi se pravilno izvelo zavarivanje potrebno je poznavati znanost o materijalima i metalurgiji, termodinamici, kemiji, elektrotehnici i informatici (Meštrović, 2022.).

Prema načinu spajanja metode zavarivanja se dijele u dvije velike grupe:

- Zavarivanje taljenjem, zavarivanje materijala u rastaljenom stanju na mjestu spoja uz dodatni materijal ili bez njega (plinsko zavarivanje i elektrolučno zavarivanje)
- Zavarivanje pritiskom, zavarivanje materijala u čvrstom ili omekšanom stanju na mjestu spoja s pomoću pritiska ili udara (kovačko zavarivanje i elektrootporno zavarivanje) (Dujak, 2019.).

Također, isti autor navodi kako su kod zavarivanja nehrđajućih čelika najčešći postupci koji se koriste:

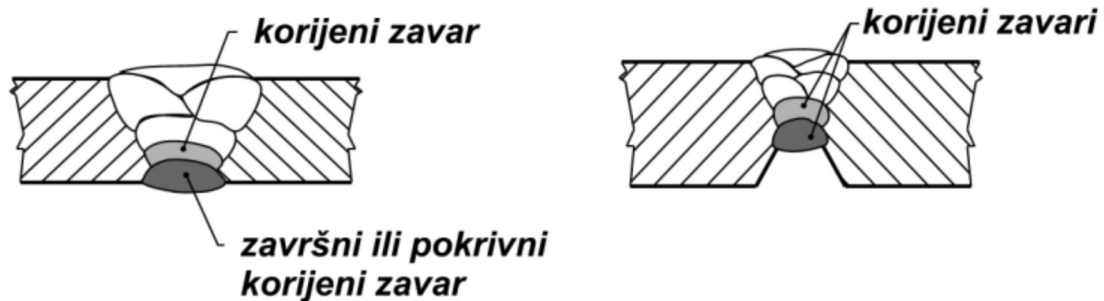
- MIG (engl. *Metal Inert Gas*) je vrsta elektrolučnog zavarivanja taljivom žicom u zaštiti neutralnog plina – uglavnom argona (Ar),
- MAG (engl. *Metal Active Gas*) je vrsta elektrolučnog zavarivanja taljivom žicom u aktivnom zaštitnom plinu - ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) ili plinska smjesa (Ar + CO<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>)
- TIG (engl. *Tungsten Inert Gas*) je elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti neutralnog plina.

##### 3.1.1. Općenito o zavarivanju korozijski postojanih čelika

Zavar je dio šava koji je nastao prilikom jednog prolaska pri zavarivanju, a sloj čini jedan ili više zavara u dijelu šava. Korijeni zavar je zavar koji se nalazi u korijenu žlijeba, dok je završni ili pokrivni korijeni zavar položen sa strane naličja šava, nakon žlijebljena korijenog zavara.



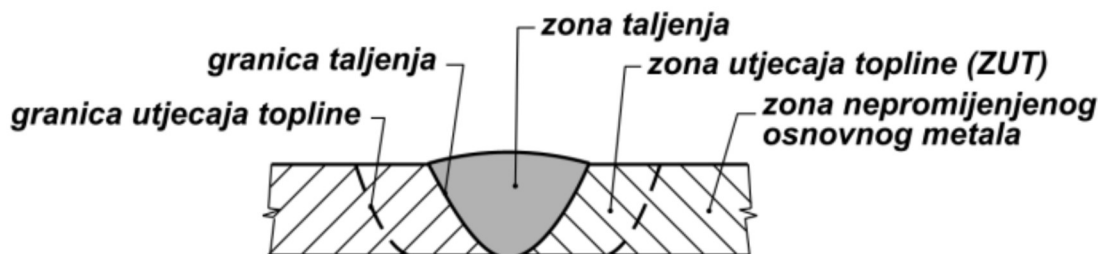
Zavari popune žlijeba slijede nakon korijenog zavara, a svrha im je ispunjavanje žlijeba te formiranje šava. Kao završni zavar, zavaruje se sljemeni ili pokrivni zavar na strani otvora žlijeba (Meštrović, 2022.). Na slici 13, prikazi su načini izvedbe korijenog i završnog zavara.



Slika 13. Prikaz korijenog i završnog ili pokrovnog zavara  
(Izvor: Meštrović, 2022.)

Isti autor navodi kako se struktura zavarenog spoja dijeli na karakteristične zone zavara, što je prikazano na slici 14:

1. zona taljenja
2. zona utjecaja topline (ZUT)
3. zona nepromijenjenog osnovnog metala.



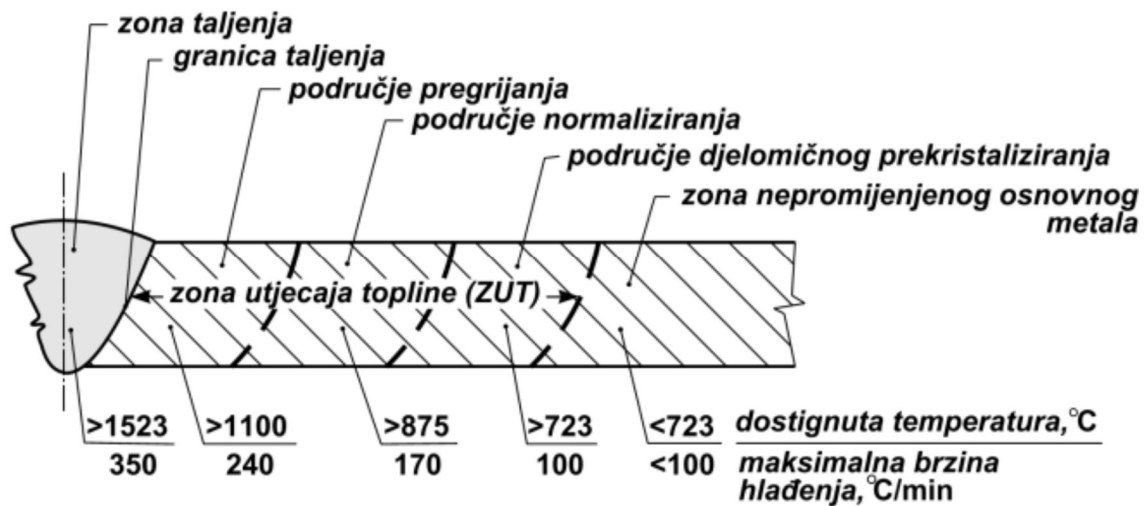
Slika 14. Struktura zavarenog spoja  
(Izvor: Meštrović, 2022.)

Također, autor (Meštrović, 2022.) navodi kako je zona taljenja područje zavarenog spoja koji se nalazi u granicama taljenja u kojem se osnovni metal u potpunosti istali. U zoni taljenja postižu se izrazito visoke temperature, metalurška struktura ovisi o izvođenju zavarivanja, a hlađenje metala ima najdulji vijek. Struktura u zoni taljenja sastoji se od krupnih zrna, a ukoliko se radi višeslojno zavarivanje struktura se normalizira na sitnozrnatu.

Zona utjecaja topline (ZUT) smjestila se izvan granica taljenja na rubnim dijelovima osnovnog metala. Dolazi do značajnih promjena u strukturi osnovnog metala zbog utjecaja povišenih

temperatura, što dovodi do promjene u mehaničkim i drugim svojstvima zavarenog spoja. Svojstva metala u zoni utjecaja topline izrazito su važna nakon izvođenja zavara jer se smatra slabijom zonom, odnosno, najčešće je područje gdje dolazi do pojave loma kada je zavareni metal pod utjecajem velikih opterećenja. Zbog raznolikosti u samoj strukturi, zona utjecaja topline može se podijeliti na četiri područja, a to su: područje pregrijanja, područje normaliziranja, područje djelomičnog prekrystaliziranja i područje nepromijenjenog osnovnog metala. Navedena područja prikazana su na slici 15.

Zonu utjecaja topline može se sumirati na kritičnu zonu u spoju zbog čega je potrebno kontrolirati njegove učinke, heterogena je zona i može se podijeliti na različite podzone, postoji mnogo mogućih metalurških reakcija u ZUT-u, a mikroskopska i mehanička svojstva ovise o toplini tijekom zavarivanja.

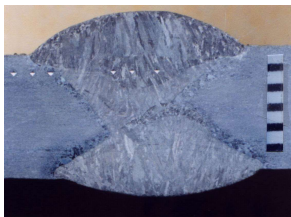


Slika 15. Područja u zoni utjecaja topline

(Izvor: Meštrović, 2022.)



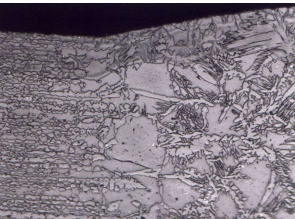
Tablica 1. Svojstva zavarljivosti i osnovni problemi koji se mogu pojaviti kao posljedica na različitim vrstama nehrđajućih čelika.

(Izvor: Juraga i sur., 2007)

VRSTA NEHRĐAJUĆEG ČELIKA	ZAVARLJIVOST	PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH PROBLEMA
FERITNI	Zavarljivost feritnih nehrđajućih čelika je ograničena zbog izrazite sklonosti prema pogrubljenju strukture, što dodatno može dovesti do ubrzanijeg izlučivanja krhkih intermetalnih faza (npr. sigma faza) u području visokotemperaturnog dijela zone utjecaja topline. Nešto bolja zavarljivost kao i poboljšana korozivna postojanost dobiveni su kod tzv. superferitnih čelika. Superferitni čelici osim povišenog udjela kroma (19 – 30 %) te dodatnog legiranja molibdenom, imaju vrlo niski udjel ugljika i dušika ( $C + N < 0,01-0,02\%$ ).	

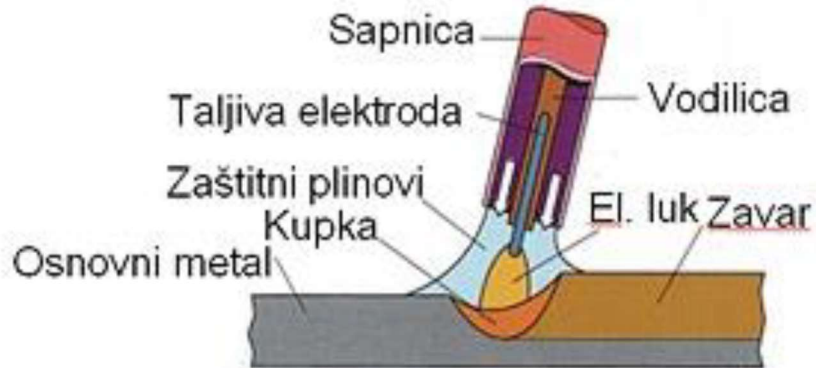
Nastavak Tablica 1. Svojstva zavarljivosti i osnovni problemi koji se mogu pojaviti kao posljedica na različitim vrstama nehrđajućih čelika.

(Izvor: Juraga i sur., 2007)

VRSTA NEHRĐAJUĆEG ČELIKA	ZAVARLJIVOST	PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH PROBLEMA
MARTENZITNI	<p>Zavarivanje ovih legura zahtjeva toplinske postupke prije (predgrijavanje 200-300°C), i poslije postupka zavarivanja (popuštanje 700-750°C) zbog svojstva zakaljivosti na zraku.</p> <p>Za zavarivanje se koriste dodatni materijali isti ili slični osnovnom materijalu ili se koriste austenitni dodatni materijali. Za izradu zavarenih konstrukcija rabe se čelici s manje od 0,15% C.</p>	
AUSTENITNI	<p>Austenitni čelici dobro su zavarljivi (uz iznimku čelika koji sadrže sumpor ili selen - čelici za strojnu obradu). Ne treba ih predgrijavati prije zavarivanja.</p> <p>Najveći problem predstavlja mogućnost senzibilizacije tj. precipitacije kromovih karbida u temperaturnom rasponu od 425 - 850°C što može dovesti do pojave interkristalne korozije.</p> <p>Zavarljivost ovih konstrukcijskih materijala traži odgovarajuću tehnološku razinu i disciplinu, a treba voditi računa i o povećanoj sklonosti deformacijama. Naime, visoki koeficijent toplinske istežljivosti, te sniženi koeficijent toplinske vodljivosti, rezultiraju povećanom sklonošću ka deformacijama kao posljedica zavarivanja. Skloni su pojavi toplih pukotina u metalu zavara, što se javlja s jedne strane kao posljedica nečistoća u materijalu, te uslijed izražene sklonosti deformacijama odnosno zaostalim naprezanjima. Problem je danas uglavnom riješen pravilnim odabirom dodatnih materijala (4 – 12 % delta ferita) te samom tehnikom kao i ostalim uvjetima zavarivanja.</p>	
DUPLEKS	<p>Za zadržavanje dovoljnog udjela austenitne strukture u području zavarenog spoja koriste se dodatni materijali predviđeni za zavarivanje čelika dupleks, a koji su "prelegirani" s nekoliko postotaka nikla u odnosu na dodatni materijal. U posljednje vrijeme mnogi rezultati su postignuti u izučavanju utjecaja zaštitnih plinova kod zavarivanja čelika dupleks. Pouzdano je utvrđen pozitivan utjecaj na stvaranje austenitne strukture, ukoliko se u zaštitni plin dodaje dušik. Feritizacija koja je posljedica zavarivanja, u svakom slučaju djeluje štetno, jer povećani udjel feritne strukture (i do 80 i više posto) neminovno dovodi do olakšanog stvaranja krhkih struktura u tom pojasu, do smanjenja korozijske postojanosti i dr. Feritizirani dio strukture je najkritičnije područje zavarenog spoja od čelika dupleks. Zavarivanje je nužno izvoditi kontroliranim uvjetima u smislu unosa topline – parametara zavarivanja.</p>	

### 3.1.2. MIG postupak zavarivanja

MIG/MAG (engl. *Metal inert Gas/Metal Active Gas*) ili GMAW (engl. *Gas Metal Arc Welding*), je elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi. To je postupak spajanja metala taljenjem i očvršćivanjem dijela osnovnog metala i dodatnog metala pri čemu se za zaštitu rastaljenog metala koriste inertni, aktivni plinovi ili mješavine plinova. Kod ovog postupka zavarivanja električni luk se održava između taljive kontinuirane elektrode u obliku žice u pravilu spojena na plus pol istosmjernog izvora struje. Taj proces odvija se u zaštitnoj atmosferi koju osiguravaju zaštitni plinovi npr. Ar ili He kao inertni ili CO<sub>2</sub> kao aktivni ili mješavine tih plinova. Pogonski sustav dodaje žicu kontinuirano uz konstantnu brzinu kroz cijevi paketa i pištolja do mjesta zavarivanja gdje se uspostavlja električni luk. Žica je ujedno i elektroda i dodatni materijal. Samim njenim taljenjem popunjava se pripremljeni žlijeb. Postupak može biti poluautomatski ili automatski. Ako se zavarivanje vrši na udaljenosti većoj od pet metara od izvora struje obično se primjenjuje sustav „push-pull“, dodatni pogon za dodavanje žice koji je smješten u samom pištolju. Sustav se primjenjuje i na manjim udaljenostima ako se radi s mekanijim ili tanjim dodatnim materijalom. Plinovi se dovode kroz posebnu sapnicu (Zadravec, 2020.).



Slika 8. Shema postupka MIG/MAG zavarivanja

(Izvor: Zadravec, 2020.)



Slika 9. MIG/MAG zavarivanje

(Izvor: <https://tsi.webador.com/tois-mig-mag-postupak-zavarivanja>)

U nastavku rada navedene su prednosti i nedostaci MIG/MAG postupka zavarivanja:

Prednosti:

- razvijen dovoljno širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje
- manja cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na zavarivanje TIG postupkom
- pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodnju, te reparaturna zavarivanja
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja
- pogodan za automatizaciju i robotizaciju
- daleko veća učinkovitost (kilograma položenog materijala na sat) u odnosu na zavarivanje TIG postupkom
- čista površina metala položenog zavara (bez troske)
- smanjenje iskrivljenja konstrukcije

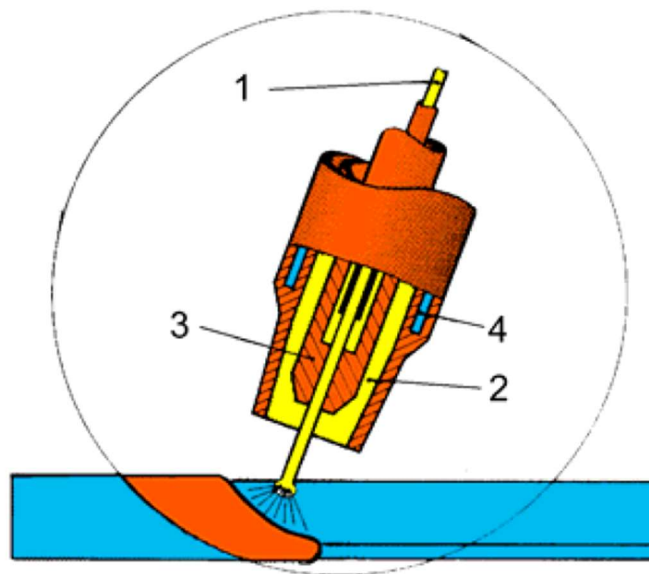
Nedostaci:

- kvaliteta zavara još uvijek ovisi o vještini zavarivača (čovjeka) kod poluautomatskog zavarivanja
- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je kraće nego kod zavarivanja TIG postupkom (mada je praksa da MIG zavarivači prvo nauče ručno elektro-lučno zavarivanje)

- kvaliteta zavarenog spoja je slabija u odnosu na kvalitetu zavarivanja TIG postupkom (kako sa estetskog stajališta, tako i sa stajališta grešaka u zavarenom spoju i mehaničkih svojstava zavarenog spoja)
- dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju
- pri zavarivanju se oslobađaju plinovi (potrebna dobra ventilacija prostora)
- dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlju zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava) ([https://tsi.webador.com/tois-mig-mag-postupak zavarivanja](https://tsi.webador.com/tois-mig-mag-postupak-zavarivanja)).

Na slici 10 prikazan vrh pištolja za MIG/MAG postupak zavarivanja, pri čemu je:

1. Žica (elektroda)
2. Zaštitni plin (kod MIG postupka Argon, kod MAG postupka ugljični dioksid)
3. Vodilica za žicu
4. Hlađenje



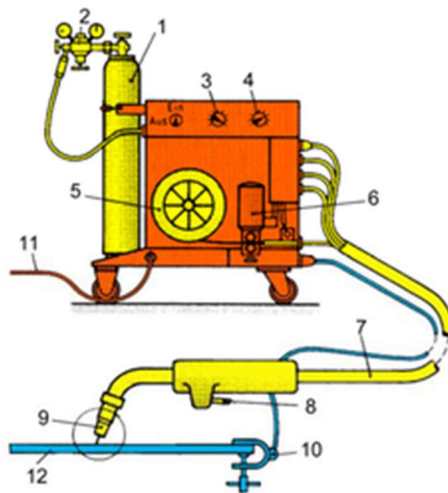
Slika 10. Vrh pištolja za MIG/MAG postupak zavarivanja

(Izvor: <https://tsi.webador.com/tois-mig-mag-postupak-zavarivanja>)

Na slici 11, prikazan je uređaj za MIG/MAG postupak zavarivanja, pri čemu je:

1. Plinska boca
2. Redukcijski ventil
3. Regulacija brzine žice
4. Podešavanje jakosti struje zavarivanja
5. Namotaj žice

6. Pogon žice
7. Savitljivo crijevo
8. Pištolj - držač elektrode
9. Mlaznica
10. Pol priključka (masa)
11. Mrežni priključak
12. Osnovni materijal

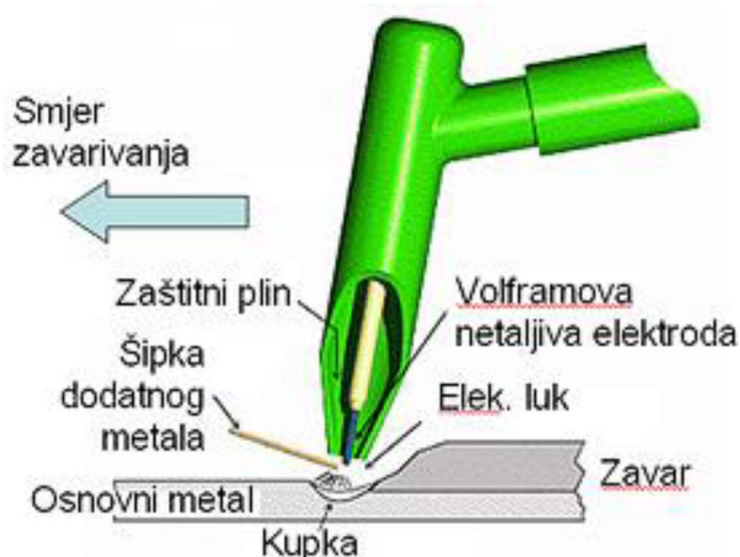


Slika 11. Uređaj za MIG/MAG postupak zavarivanja  
(Izvor: <https://tsi.webador.com/tois-mig-mag-postupak-zavarivanja>)

### 3.1.3. TIG postupak zavarivanja

TIG (engl. *Tungsten Inert Gas*) zavarivanje je postupak zavarivanja materijala netaljivom elektrodom pod zaštitom inertnog plina. Još se naziva i GTAW zavarivanje (engl. *Gas tungsten arc welding*). Kod TIG zavarivanja se električni luk uspostavlja između netaljive volframove elektrode i osnovnog materijala, pri čemu se osnovni materijal tali. Prvotno se TIG zavarivanje razvilo za potrebe avioindustrije, za zavarivanje lakih metala, a kasnije se proširilo za kemijsku i procesnu industriju za zavarivanje nehrđajućih čelika, aluminija i bakra. TIG postupak se provodi sa ili bez dodatnog materijala. Dodatni materijal je u obliku žica promjera 0,5 – 8 mm i duljine 1000 mm ili trake lima. Prilikom zavarivanja dodatni materijal se dodaje u prednji rub taline pod kutom od 10° do 20°. Dodatni materijal mora biti metalurški i površinski čist jer se u talini ne može pročistiti. Netaljiva volframova elektroda, za razliku od MIG i MAG zavarivanja služi samo za uspostavljanje električnog luka, a izrađuje se od čistog volframa ili uz dodatak torija, koji se koristi samo za istosmjernu struju, ili uz dodatak cirkonija, koji se

koristi kod izmjenične struje za zavarivanje aluminija i magnezija. Osim za vrstu struje i materijal koji se zavaruje, značaj dodatnih elemenata je u tome da omogućavaju uspostavljanje i stabilniji luk pri malim strujama. Dimenzije elektroda su 0,6 – 8 mm u promjeru te duljine 50 – 175 mm. Za različite materijale i jakosti struje, potrebno je prethodno odgovarajuće pripremiti vrh elektrode brušenjem. Najčešći oblik elektrode koji se koristi je zašiljeni. Pri tom je elektroda spojena na "–" pol te se 2/3 topline oslobađa na radnom komadu, a 1/3 na elektrodi. Stoga je takvu elektrodu moguće koristiti za najveće struje zavarivanja. Kada je elektroda spojena na "+" pol tada se 2/3 topline oslobađa na elektrodi. Ta elektroda se koristi samo u posebnim slučajevima. Slučaj kada se koristi izmjenična struja oslobađa otprilike podjednaku struju na elektrodi i radnom komadu. Takva vrsta elektrode se koristi samo za zavarivanje Al, Mg i njihovih legura (Kocijan, 2020.).



Slika 12. Zavarivanje TIG postupkom  
(Izvor: Dujak, 2019.)

### 3.2. Primjena korozijski postojanih čelika pri obradi plastičnom deformacijom

U postupke oblikovanja metala deformiranjem spada široka grupa postupaka od kojih su najpoznatiji i najrašireniji postupci kovanja, valjanja, dubokog vučenja, provlačenja itd. Svi oni temelje na promjeni oblika predmeta rada bez odvajanja čestica, promjenama mikrostrukture materijala, gibanjem dislokacija kroz kristalnu strukturu materijala te stvaranjem novih dislokacija u materijalu. Uvjet promjene oblika obratka je opterećenje iznad granice elastičnosti što znači da materijal dovodimo u zonu plastičnog tečenja nakon kojeg se on ne vraća u početno stanje. Posljedica tako velikog opterećenja, uz promjenu oblika, je i promjena mikrostrukture te fizikalnih i kemijskih svojstava materijala. Postupci oblikovanja metala deformiranjem



svojtveni su kod izrade obradaka uskih tolerancija, složenih oblika, širokog raspona masa itd. Primjenjuju se najčešće kod proizvodnje velikih serija što rezultira i niskom cijenom kako proizvodnje tako i tržišne cijene samog proizvoda. Prilikom projektiranja postupka proizvodnje postupcima oblikovanja deformiranjem, posebnu pozornost pridajemo temperaturi oblikovanja, korištenom mazivu, brzini oblikovanja te samom stupnju deformacije (Vidović, 2020.).



Slika 16. Postupak kovanja u toplom stanju  
(Izvor: <https://www.wikiwand.com/hr/Kovanje>)

Smanjenje kristalne strukture na nanomjeru omogućuje dobivanje visokoučinkovitih čelika za najzahtjevnije primjene. Na primjer, ugljični UFZ (ultrafinozrnati) čelici su bili razvijeni za razne konstrukcijske primjene uključujući mostove, automobile i druge primjene kritične za čvrstoću. Dizajnirani su ultrafinozrnati legirani čelici kao napredni čelici visoke čvrstoće za transport po krojenim složenim mikrostrukturama uključujući ferit, austenit, bainitne ili martenzitne matrice ili višefazne smjese. Nehrđajući čelik je također proučavan za poboljšanje svojstva na sobnim i povišenim temperaturama za primjene u strojarstvu i umjetničkim konstrukcijama. Nekoliko vrsta čelika obrađeno je korištenjem tehnika teške plastične deformacije (TPD) za dobivanje ultrafino zrnatih čelika, uključujući ugljične čelike, legirane čelike, nehrđajuće čelike i alatne čelike. Poboljšanje mikrostrukture dobiveno ovim TPD tehnikama poboljšalo je mehanička svojstva i omogućilo nekoliko studija o kontroli korozije,

ublažavanju i zaštiti. Korozija je i dalje glavna briga za industrije diljem svijeta zbog golemih tehničkih, ekonomskih i društvenih posljedica. Materijali s visokom otpornošću na koroziju također su skupi materijali, ali mogu biti podvrgnuti degradaciji u teškim okruženjima ili pod stresom, što objašnjava zašto je potrebno koristiti nove tehnike obrade i odgovarajuće strategije kontrole korozije (Cardonaa, 2023.).

Teška plastična deformacija (TPD) modificira mikrostrukturu čelika, ali također uzrokuje fazne transformacije, distribuciju nečistoća i otopljenih elemenata, segregaciju i promjene u gustoći dislokacije i teksturi. Različite tehnike teške plastične deformacije korištene su za modificiranje mikrostrukture čelika i poboljšanje korozijskog ponašanja. Međutim, ovisno o početnom stanju čelika i načinu obrade mogu se dobiti različite mikrostrukture (Cardonaa, 2023.).

Jedna od bitnih faza u procesima oblikovanja materijala je odabrati pravi materijal za određenu operaciju oblikovanja. Važna briga kod oblikovanja je može li se željena deformacija postići bez kvara materijala. Sposobnost materijala da se pod određenim uvjetima plastično oblikuje u željeni konačni oblik obično se naziva sposobnost oblikovanja. Za određeni proces i geometriju deformacije, granice oblikovanja variraju od materijala do materijala. Za operaciju oblikovanja treba uzeti u obzir tri aspekta:

#### 1. Svojstva objekta.

Različiti predmeti poput metalnog lima, rešetke, šipke, žice, itd.; obično pokazuju složene unutarnje strukture određene nejednolikom raspodjelom nekih svojstava materijala tj. kemijskog sastava, oblika i veličine zrna, teksture. Dakle, različite ploče lima (table) s identičnim kemijskim sastavom mogu pokazati različito ponašanje tijekom procesa oblikovanja.

#### 2. Parametri oblikovanja.

Oni su određeni vrstom rada, geometrijom preše (štance) i matrice, temperaturom oblikovanja, podmazivanjem, vrstom preše, brzinom cilindra preše itd.

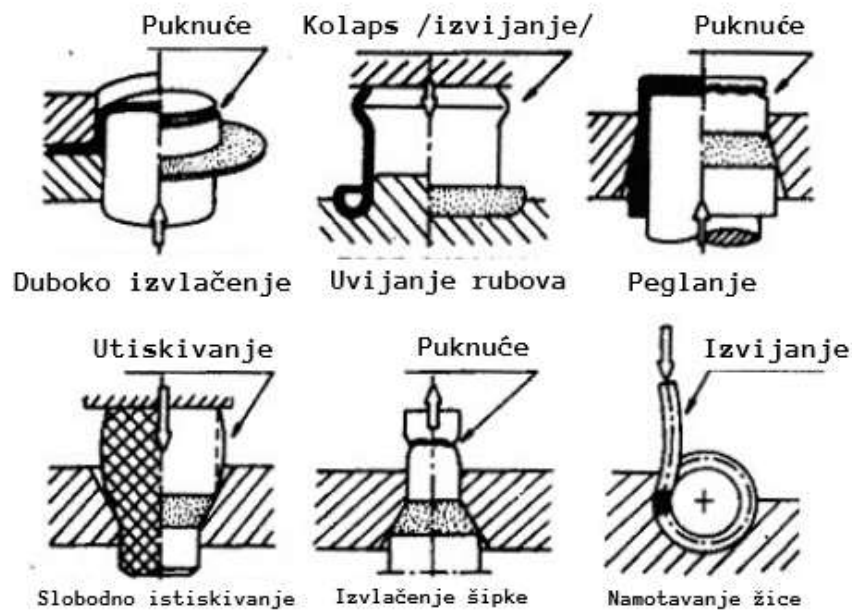
#### 3. Kriteriji oblikovanja.

Postoje različiti kriteriji koji se primjenjuju ovisno o uvjetima oblikovanja, na primjer, duktilni lom, naboranje, žuljanje. Maksimalna deformacija koju materijal može pretrpjeti u bilo kojoj operaciji oblikovanja metala obično je ograničena raznim nepovoljnim pojavama.

- Oštećenje alata za oblikovanje. Kada maksimalno opterećenje potrebno za oblikovanje premašuje graničnu i/ili zamornu čvrstoću alata ili uzrokuje brzo trošenje.

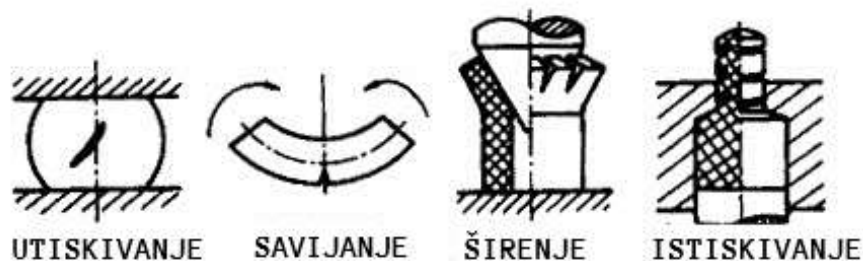
- Kvar materijala za oblikovanje. Ako opterećenje oblikovanja premašuje njegovu snagu izvan područja oblikovanja obratka. Ovakav kvar prikazan je na slici 17.

- Duktilni slom. To se može dogoditi u području formiranja materijala. Obično mu prethodi lokalizacija deformacije u obliku smičnih traka. Različiti primjeri prikazani su na slici 18.
- Lokalizirana formacija vrata. Ovo je obično uzrok neuspjeha i granica rastezanja za operacije oblikovanja limova. Različiti primjeri prikazani su na slici 19.
- Boranje ili naboranje. To se može dogoditi kada je ploča pod pritiskom. Na primjer, ako je sila slijepog držača preniska tijekom postupka dubokog izvlačenja, dolazi do naboranja na rubu i na donjem dijelu stijenki predmeta (Andersson, 2005.).



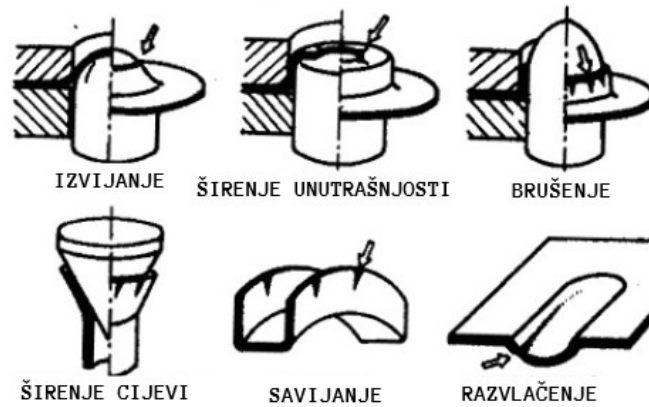
Slika 17. Deformacija je u tim slučajevima ograničena opterećenjem koje premašuje čvrstoću materijala izvan područja oblikovanja

(Izvor: Andersson, 2005.)



Slika 18. Deformacija je ograničena duktilnim lomom unutar područja formiranja

(Izvor: Andersson, 2005.)



Slika 19. Različite metode oblikovanja gdje granica deformacije može biti povezana s lokaliziranim grlom

(Izvor: Andersson, 2005.)

Autor (Andersson, 2005) navodi kako su ostale vrste ograničenja točnosti dimenzija nakon operacije oblikovanja. To bi moglo biti povezano s pojavama kao što su:

- Odbitak, nakon rasterećenja udarca.
- Nejednolika debljina stjenke u obratku. To je rezultat nejednolike raspodjele deformacije po debljini. Najveća deformacija pri stanjivanju može se smatrati kriterijem oblikovanja
- Uši tijekom dubokog izvlačenja.

## **4. PRIMJENA KOROZIJSKI POSTOJANIH ČELIKA PRI IZRADI DIJELOVA POLJOPRIVREDNE TEHNIKE**

Nehrđajući čelici svoju primjenu pronalaze u različitim industrijskim segmentima, od poljoprivrede, prehrambene industrije, medicine, brodogradnje, itd. Često se koriste i kao luksuzni ukrasni materijal, najviše zbog svog sjaja, ali i laganog održavanja i dugotrajnosti. Nehrđajući čelici imaju široku primjenu u poljoprivredi počevši od ratarstva, stočarstva, voćarstva, vinogradarstva, zbog više razloga, kao što su pasivnost materijala na koroziju, ne stare, otporni su na kiseline, lužine i atmosferske utjecaje. ISSF (*International Stainless Steel Forum*, 2014.) navodi da se nehrđajući čelici vrlo često primjenjuju u poljoprivredi. Od jednostavne opreme za hranjenje pa sve do najnaprednije robotizirane opreme za mužnju. Nehrđajući čelik se nalazi na farmama u brojnim aplikacijama, gdje je alternativa plastici, lakim metalima (uglavnom aluminiju) i prije svega pocinčanom čeliku. Postoje dobri ekonomski razlozi za zamjenu pocinčanog čelika nehrđajućim čelikom, a najvažniji je što standardni pocinčani dijelovi imaju ograničen vijek trajanja. Njihova zaštita od korozije ovisi o deponiranom galvaniziranom sloju cinka. Čelik je zaštićen galvanskom reakcijom: cink je manje "plemeniti" metal od željeza. Zbog toga će kisik uključen u proces korozije prvenstveno reagirati s cinkom i ostaviti čelik nepromijenjenim. Ovo načelo uključuje dva ograničenja; 1. ograničenje: kada se zaštitni sloj cinka ukloni slučajnim oštećenjem ili strojnom obradom, nezaštićeni čelik je izložen okolišu i hrđa. 2. ograničenje: galvansko djelovanje postupno troši zaštitni sloj cinka. Projektirani životni vijek čeličnog proizvoda ovisi o debljini metalne prevlake; međutim uvijek je ograničena. U robusnom poljoprivrednom okruženju teško je izbjeći mehanička oštećenja. Iz tog razloga, materijali otporni na koroziju poput nehrđajućeg čelika imaju višestruke prednosti. Nehrđajući čelik ne stari – njegova otpornost na koroziju ostaje nepromijenjena tijekom cijelog vijeka trajanja proizvoda. Među mnogim opcijama, nehrđajući čelik ističe se među ostalima svojim površinskim svojstvima. Standardne svijetle završne obrade posebno se lako čiste. Odsutnost grubih površina posebno se cijeni u primjenama u mljekarstvu, gdje je mikrobiološka kvaliteta sirovog mlijeka ključna ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)).

### **4.1. Ograde, kapije i pregrade**

Gospodarske zgrade uključuju lake strukture poput ograda, vrata i pregradnih zidova. Neki od najnaprednijih sustava koriste cjevaste strukture od nehrđajućeg čelika jer je komponente lako unaprijed proizvesti i sastaviti, također, moguća je i lokalna obrada zavarivanjem (u

slučajevima kada je potreban popravak oštećenih dijelova). Njihove površine imaju izvrsnu sposobnost čišćenja i pružaju visoku otpornost na udarce i trošenje ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)).



Slika 20. Ograde, kapije i pregrade od nehrđajućeg čelika

(Izvor: [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org))

#### 4.2. Uređaji za hranjenje

Mogućnost oblikovanja i zavarljivost ključni su zahtjevi za izradu opreme. Materijal je u ovom slučaju imovina. Mogućnost oblikovanja metalnog materijala označava se istežanjem pri lomu. Označava za koliko se postotaka materijal može rastegnuti prije nego što pukne. U slučaju nehrđajućeg čelika ta vrijednost može biti veća od 50 %, ovisno o kvaliteti. Za usporedbu: uobičajene legure ugljičnog čelika uglavnom imaju vrijednosti oko 25 % ili manje, a legure aluminija obično ispod 10 %. Izvanredna duktilnost nehrđajućeg čelika jedan je od razloga zašto se materijal tako često koristi za dijelove složenog oblika. Idealno je prikladan za proizvodne procese kao što su prekidno prešanje, duboko izvlačenje ili centrifugiranje. Izvrsna zavarljivost nehrđajućeg čelika je još jedna prednost. Osim uklanjanja diskoloracije zavara, nije potrebna nikakva daljnja obrada nakon zavarivanja. Osobito je austenitni nehrđajući čelik prilično popustljiv. Ovo je važno kada se dijelovi moraju zavarivati na gradilištu, gdje je teško zajamčiti optimalne uvjete. Mehaničko spajanje uključuje bušenje rupa u limu, cijevi ili dijelu. U slučaju ugljičnog čelika zaštićenog od korozije, lokalno uklanjanje zaštitne metalne ili organske prevlake (tj. galvanskog sloja ili boje) zahtijeva popravak kako bi se izbjegla preuranjena korozija. Međutim, kvaliteta ovih popravaka ovisi o vještini i brizi osobe koja ih izvodi. Popravljeni premazi rijetko su tako dobri kao originalni. U slučaju nehrđajućeg čelika, nema takvih briga jer je materijal otporan na koroziju kompletno, a rezni rubovi su otporni na koroziju kao i druge površine. Ova kombinacija intrinzične prednosti čini nehrđajući čelik zanimljivom opcijom za manje i srednje proizvođače uključene u proizvodnju opreme izrađene po narudžbi. Izbjegnuti su dodatni troškovi, logistika i vrijeme za zaštitu od korozije ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)).

Na slikama su 21 i 22 su prikazani uređaji za hranjenje životinja izrađeni od korozijski postojanog (nehrđajućeg) čelika primjenom kombinacije tehnologija zavarivanja i oblikovanja metala deformiranjem.



Slika 21. Posuda za tov svinja  
(Izvor: [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org))



Slika 22. Korito za hranjenje od nehrđajućeg čelika  
(Izvor: [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org))

#### **4.3. Posude i uređaji za doziranje vode u objektima za uzgoj životinja**

U nastojanju da se za stoku osigura stalna opskrba čistom, oksigeniranom vodom koja maksimizira produktivnost proizvodnje, nehrđajući čelik postao je uobičajen u sustavima za

napajanje. Mogućnost oblikovanja nehrđajućeg čelika olakšava izradu zaobljenih rubova koji smanjuju rizik od ozljeda životinja. Plutajuće posude od nehrđajućeg čelika imaju provjeren dizajn s dubokom posudom i glatkim dizajnom rubova, što ih čini izvrsnim za konje, mliječne krave i goveda. Bradavice za pojenje, na primjer za prasad, sastoje se od tijela od nehrđajućeg čelika zajedno s kupolastim zaslonom od nehrđajućeg čelika i oprugom od nehrđajućeg čelika. Veći modeli s klipom napravljeni su za lakše pražnjenje i čišćenje. Redovito održavanje može uključivati opetovano rastavljanje i sastavljanje, što ide zajedno sa značajnim abrazivnim utjecajem na spojeve. Obložene otopine sklone su oštećenjima i trošenju. Rješenja od nehrđajućeg čelika sprječavaju da spojevi postanu slabe točke u dizajnu ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)).



Slika 23. Bradavice za pojenje prasadi

(Izvor: <https://www.bainbridgevet.com.au/product-group/2439-pig-nipples/product>)

Posude za vodu moraju biti mehanički otporne. Hladna obrada austenitnog nehrđajućeg čelika daje proizvedenim komponentama dodatnu čvrstoću. Razlog je još jedno specifično mehaničko svojstvo nehrđajućeg čelika – fenomen poznat kao radno otvrdnjavanje. U područjima gdje se materijal formira, njegova čvrstoća raste. Povećanje ovisi o stupnju i brzini promjene oblika. Rezultirajuća veća čvrstoća može omogućiti smanjenje debljine stijenki, što se prevodi u manju težinu i manje troškove materijala ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)).





Slika 24. Posude za vodu u štalama za goveda  
(Izvor: [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org))

#### 4.4. Električna i mehanička oprema

Gospodarske zgrade zahtijevaju ventilaciju. Gnoj i urin čine atmosferske uvjete prilično nagrizajući. Nehrđajući čelik je stoga dobro rješenje za ventilacijske kanale i njihove pričvrstne elemente. Povišene temperature tipične za štale i objekte za tov svinja ubrzavaju korozivne reakcije. Metalni okviri od nehrđajućeg čelika produljuju vijek trajanja opreme za grijanje i ventilaciju kao što su puhalo vrućeg zraka, koji osiguravaju optimalne temperaturne uvjete, primjerice za telad i prasad. Otpadna toplina u ispušnom zraku štala za krave ili objekata za tov svinja također se može koristiti za grijanje susjednih zgrada, na primjer za zaštitu od smrzavanja. Kanali i izmjenjivači topline od nehrđajućeg čelika optimalan su izbor materijala ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)).



Slika 25. Ventilacijski kanali  
(Izvor: [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org))

#### 4.5. Dijelovi u mljekarskoj industriji

U mnogim dijelovima svijeta uzgoj mlijeka je stoljećima među najosnovnijim i tradicionalnim poljoprivrednim aktivnostima. Danas azijske kulture sve više uključuju mliječne proizvode u svoju prehranu i čine da ovaj sektor prehrambene industrije raste spektakularnom brzinom. Budući da je mlijeko jedan od najosjetljivijih prehrambenih proizvoda, nehrđajući čelik je dio lanca prerade od ranih dana svog izuma – uključujući mužnju i prikupljanje mlijeka na farmama svih veličina. Vrijeme između mužnje i preuzimanja mlijeka autocisternama ključno je za njegovu kvalitetu, te se stoga spremnici u autocisternama izrađuju od nehrđajućeg čelika ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)).



Slika 26. Autocisterna sa spremnikom od nehrđajućeg čelika

(Izvor: <https://www.poslovni.hr/hrvatska/dukat-spasava-otkup-mlijeka-u-slavoniji-4242674>)

Moderna proizvodnja mlijeka postaje robotizirani proces. U najnaprednijoj opremi, krave se muzu robotskim rukama kojima upravlja kamera, a koje su izrađene od nehrđajućeg čelika. Radnje su računalno kontrolirane. Funkcije, pa čak i statistički i zdravstveni podaci krave prikazuju se na ekranu osjetljivom na dodir, koji je, kao i većina opreme, integriran u ormar od nehrđajućeg čelika ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)).



Slika 27. Automatizirana stanica za mužnju

(Izvor: [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org))

#### 4.6. Spremnici za gnojnicu i otpadne vode

Spremnici od nehrđajućeg čelika koriste se za sakupljanje gnojnice kao i fermentori bioplina. Izazov je osigurati mehaničku stabilnost, nepropusnost za tekućine i plinove kao i minimalnu potrošnju materijala. Mehanička svojstva nehrđajućeg čelika ispunjavaju ovaj zahtijevani profil: izvrsna sposobnost oblikovanja austenitnog nehrđajućeg čelika omogućuje oblikovanje ukrućenja. Kombinacija mehaničkih spojnica i polimernih brtvila osigurava izdržljive i čvrste spojeve. Vrijeme montaže za spremnike od nehrđajućeg čelika je minimalno. Površine su glatke i bez pora te nema procesa starenja kao kod cementnih materijala. Materijal nehrđajući čelik je kemijski i biološki neutralan. Nedavno su dvostruki nehrđajući čelici postali alternativa utvrđenim austenitnim stupnjevima u ovoj primjeni. Zbog njihove kombinacije visoke otpornosti na koroziju i mehaničke čvrstoće, debljine stijenki mogu se smanjiti do 30 % u usporedbi s klasičnim izvedbama ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)). Na slici 28, prikazani su spremnici za gnojnicu izrađeni od nehrđajućeg čelika.



Slika 28. Spremnici od nehrđajućeg čelika za skladištenje gnojnice i fermentaciju bioplina  
(Izvor: [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org))

#### 4.7. Ispušna cijev na traktoru

Ispušna cijev na traktoru je često izrađena od nehrđajućeg čelika, a razlog tome su visoke temperature koje ispušna cijev mora podnositi. Osim izloženosti visokih temperatura, nehrđajući čelik nalazi svoju primjenu i kao spremnik za različite tekućine. Na slici 29, prikazana je ispušna cijev motora traktora, izrađena od nehrđajućeg čelika.



Slika 29. Ispušna cijev na traktoru  
(Izvor: <https://www.mochofabrication.co.uk>)

## 5. ZAKLJUČAK

Zbog otpornosti na korozivna djelovanja i kemijske utjecaje, nehrđajući čelici su nezaobilazan materijal brojnih industrija, pa tako i u poljoprivrednoj proizvodnji. Nehrđajući čelici našli su svoju primjenu u gotovo svim granama poljoprivrede (stočarstvo, ratarstvo, razni dijelovi poljoprivredne tehnike, itd.). Takvi čelici ne hrđaju, ne stare, a otporni su na lužine, kiseline i atmosferske utjecaje (kiša, snijeg, biljni i životinjski ostaci, itd.), te tijekom dugog niza godina ostaju nepromijenjeni. U poljoprivredi je jako teško izbjeći mehanička oštećenja, pa se iz tog razloga materijali koji su otporni na koroziju, kao što je nehrđajući čelik, najčešće koriste te imaju prednost pred čelicima koji su obrađeni nekom od tehnika naknadne zaštite od korozije. Nehrđajući čelik ističe se među ostalim materijalima po površinskim, mehaničkim i tehnološkim svojstvima. U stočarskoj proizvodnji primjena nehrđajućih čelika se pronalazi u izradi spremnika za mlijeko i laktofriz, spremnika za gnoj, gnojovku i otpadne vode, opreme za mužnju, vrata i pregrada na farmama, itd. Također, nehrđajući čelici imaju ulogu u izradi strojeva i opreme u voćarstvu, vinogradarstvu i povrćarstvu jer su takvi strojevi često u dodiru sa biljnim sokovima i njihovim prerađevinama koji mogu biti izrazito površinski agresivni. Jedan od takvih primjera primjene nehrđajućih čelika kod traktora je i ispušna cijev, koja mora podnositi visoke temperature zbog izgaranja, te mora biti od materijala koji podnosi udarce, vlagu, vibracije, itd. Otpornost rasutog materijala na koroziju, površine koje se lako čiste i izvanredna sposobnost oblikovanja čine nehrđajući čelik najisplativijim rješenjem.

## 6. LITERATURA

1. Andersson, R. (2005.): *Deformation characteristics of stainless steels (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet)*
2. Cardonaa, D. M. M., & Nieto, F. E. C. (2023.): *An Overview on the Corrosion Behavior of Steels Processed by Severe Plastic Deformation. MATERIALS TRANSACTIONS.*
3. Brkić, S., (2007.): *Nehrđajući čelici u farmaceutskoj prehrambenoj i kemijskoj industriji.* Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb.
4. Dujak, M. (2019.): *Svojstva i primjena nehrđajućih čelika pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike (Doktorska disertacija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek. ZAVOD ZA POLJOPRIVREDNU TEHNIKU).*
5. E.M. Nasr, G., Abdel Hamid, Z., i Refai, M. (2023.): *Agricultural Machinery Corrosion. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.108918*
6. Horvatek, M. (2019.): *Pasivacija korozijski postojanih čelika (Doktorska disertacija, Sveučilište Sjever. Sveučilišni centar Varaždin. Odjel za strojarstvo).*
7. Juraga, I., Šimunović, V., & Stojanović, I. (2007.): *Zavarivanje Cr-Ni čelika, korozijska postojanost, rukovanje.* Pula.
8. Kocijan, F. (2020.): *Automatizirano TIG zavarivanje nehrđajućih čelika (Doktorska disertacija, Sveučilište Sjever. Sveučilišni centar Varaždin. Odjel za strojarstvo).*
9. Kožuh, S., (2010.): *Specijalni čelici.* Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak.
10. Kraut, B., (2009.): *Strojarski priručnik. Tehnička knjiga,* Zagreb.
11. Lovrenčić, L. (2019.): *Nehrđajući čelik-zavarivanje i naknadne površinske obrade (Doktorska disertacija, Sveučilište Sjever. Sveučilišni centar Varaždin. Odjel za strojarstvo).*
12. *MIG/MAG postupak zavarivanja.*  
<https://tsi.webador.com/tois-mig-mag-postupak-zavarivanja>
13. Meštrović, L. (2022.): *Korozijsko ponašanje zavarenih spojeva (Doktorska disertacija, Sveučilište u Rijeci. Tehnički fakultet. Zavod za znanost i inženjerstvo materijala. Sekcija za strukturu i svojstva materijala).*
14. Michler, T. (2016.): *Austenitic Stainless Steels, Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, Elsevier*
15. *Poslovni dnevnik*  
<https://www.poslovni.hr/hrvatska/dukat-spasava-otkup-mlijeka-u-slavoniji-4242674>

16. Tanzi, M.C., Farè, S., Candiani, G., (2019.): *Chapter 4 - Biomaterials and Applications, Foundations of Biomaterials Engineering, Academic Press*
17. Vidović, D. (2020.): Utjecaj stupnja deformacije na otpornost prema koroziji kod austenitnog nehrđajućeg čelika. (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.
18. Zadravec, K. (2020.): MIG/MAG zavarivanje nehrđajućih čelika praškom punjenom žicom (Doktorska disertacija, Sveučilište Sjever. Sveučilišni centar Varaždin. Odjel za strojarstvo).
19. Stainless Steel in Agricultural Applications  
[file:///D:/Preuzimanja/ISSF\\_Stainless\\_Steel\\_in\\_Agricultural\\_Applications-1.pdf](file:///D:/Preuzimanja/ISSF_Stainless_Steel_in_Agricultural_Applications-1.pdf)